



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 40 07 587 A 1**

⑥1 Int. Cl.⁵:
A 61 N 5/04
H 05 B 6/64
A 61 F 7/00

②1 Aktenzeichen: P 40 07 587.7
②2 Anmeldetag: 9. 3. 90
④3 Offenlegungstag: 12. 9. 91

DE 40 07 587 A 1

⑦1 Anmelder:

Kudryavtsev, Jurij Sergeevič, Fryazino,
Moskovskaja oblast', SU

⑦4 Vertreter:

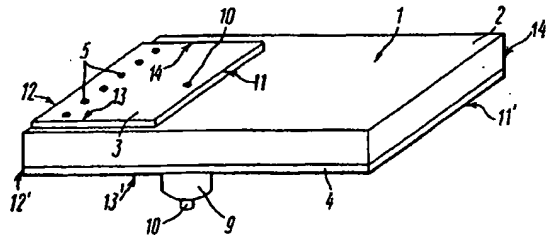
Beetz sen., R., Dipl.-Ing.; Beetz jun., R., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Timpe, W., Dr.-Ing.; Siegfried, J., Dipl.-Ing.;
Schmitt-Fumian, W., Prof. Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Mayr, C., Dipl.-Phys.Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000
München

⑦2 Erfinder:

gleich Anmelder

⑤4 Vorrichtung zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie im menschlichen Körper

⑤7 Die erfindungsgemäße Vorrichtung enthält einen Mikro-
wellenstrahler (1), der eine Strahlungselektrode (3) und eine
Schirmelektrode (4) von jeweils rechteckiger Gestalt besitzt,
die auf einer dielektrischen Unterlage (2) derart angeordnet
sind, daß ihre Seiten (11-14, 11'-14') zueinander paarweise
parallel verlaufen. Diese Elektroden (3, 4) sind durch Stege
(5) an einer ihrer Seiten (12, 12') elektrisch verbunden. Die
Entfernung der gegenüberliegenden Seite (11) der Strah-
lungselektrode (3) von jeder zu ihr parallelen Seite (11', 12')
der Schirmelektrode (4) beträgt etwa 0,2 bis 0,6 Wellenlänge
der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Zwischen-
lage (6), die zwischen dem Körper (7) und dem Mikrowellen-
strahlers (1) gelegt wird.



DE 40 07 587 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie im menschlichen Körper der im Oberbegriff des Patentanspruchs angegebenen Gattung und kann zur Behandlung von perniziösen Tumoren sowie in der Physiotherapie eingesetzt werden.

Aus den US-A-46 00 018 und GB-A-21 22 092 sind Applikatoren zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie bekannt, die einen einzelnen Mikrowellen-Resonator aufweisen, der auf einer dielektrischen Unterlage angeordnet ist und auf seiner Rückseite einen Schirm trägt. Eine Speiseleitung verbindet den Resonator und den Schirm. Der Mikrowellenschwinger steht mit einer dielektrischen Zwischenlage in Kontakt, deren Rückseite bei der Behandlung dem Patienten zugekehrt ist und durch welche die elektromagnetischen Wellen in den Körper hindurchgehen. Bei diesen Applikatoren kann eine gleichmäßige Verteilung der Mikrowellen im Körper auf einen die Resonatorgröße übersteigenden Bereich nicht erreicht werden.

Aus den US-A-45 89 422 und GB-A-21 85 891 sind auch bereits Vorrichtungen bzw. Applikatoren mit einem Mikrowellenstrahler bekannt, in denen die Strahlungs- und die Schirmelektrode über einen einseitigen Steg miteinander elektrisch verbunden sind. Diese Elektroden sind an verschiedenen Seiten einer dielektrischen Unterlage angeordnet. Am Strahler ist noch eine dem Bestrahlungsort zugewandte, dielektrische Zwischenlage angeordnet. Auch diese Applikatoren ermöglichen keine gleichmäßige Verteilung der Mikrowellen in Körperbereichen, die größer als die Länge der Strahlungselektrode (des Schwingers) sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Applikator zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie im Patienten zu schaffen, der bei relativ geringen Abmessungen eine gleichmäßige Erwärmung von größeren Körperbereichen ermöglicht.

Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung bzw. Applikator mit einem Mikrowellenstrahler, der eine Strahlungselektrode, eine Schirmelektrode, eine dielektrische Unterlage und einen die Elektroden miteinander verbindenden Steg aufweist, an dem eine dielektrische, dem Bestrahlungsort zugewandte durchlässige Zwischenlage und eine Speiseleitung angeordnet sind, über die dem Mikrowellenstrahler die Elektromagnetschwingungen mit der vorausbestimmten Wellenlänge zugeführt werden, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Strahlungs- und die Schirmelektrode des Mikrowellenstrahlers rechteckige Gestalt aufweisen und auf der dielektrischen Unterlage derart angeordnet sind, daß ihre Seiten einander paarweise parallel verlaufen, die Stege an einer Seite der Strahlungselektrode in einem $1/4$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage gleichen Abstand von der gegenüberliegenden Seite der Strahlungselektrode parallel befestigt sind, wobei die Entfernung der den Stegen parallelen und von diesen Stegen in dem Abstand gleich $1/4$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage fernstehenden Seite der Strahlungselektrode von jeder ihr parallel verlaufenden Seite der Schirmelektrode $0,2$ bis $0,6$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Zwischenlage, die Stärke dieser dielektrischen Zwischenlage $0,003$ bis $0,03$ Wellenlänge der zugegebenen Elektromagnetstrahlung erreicht.

Zweckmäßigerweise sind die Abstände zwischen den zu den Stegen parallelen und von diesen Stegen auf $1/4$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage entfernten Seite der Strahlungselektrode von jeder zu ihr parallelen Seite der Schirmelektrode gleich groß.

Bei einer eventuell im Applikator vorgesehenen, zwischen dem Körper und der dielektrischen Zwischenlage vorgesehenen Wasserkühlanlage kann der mit dem Wasser gefüllte Innenraum unmittelbar über der Schirmelektrode angeordnet werden und gleiche Abmessungen haben.

Weitere Besonderheiten der Erfindung lassen sich der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung entnehmen.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Applikator im Querschnitt;

Fig. 2 einen Mikrowellenstrahler in perspektivischer Draufsicht;

Fig. 3 eine andere Ausführung des Mikrowellenstrahlers;

Fig. 4 eine weitere Ausführung des Applikators im Längsschnitt;

Fig. 5 die Wärmeverteilung in einem bestrahlten Körper mit einem Applikator im schematischen Längsschnitt; und

Fig. 6 Kennlinien einer der Ausführungsvarianten des Applikators.

Der dargestellte Applikator zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie enthält einen $\lambda/4$ -Mikrowellenstrahler 1, der eine dielektrische Unterlage 2, eine auf einer Seite dieser Unterlage 2 angeordnete Strahlungselektrode 3 und eine auf der anderen Seite der Unterlage 2 befestigte Schirmelektrode 4 sowie einen beide Elektroden 3, 4 elektrisch verbindenden Quersteg 5 aufweist.

Eine dielektrische Zwischenlage 6 ist an der dem Bestrahlungsort im Körper 7 zugewandten Seite des Strahlers 1 befestigt. Eine Speiseleitung 8 ist mit einem hohlen Außenleiter 9 und einem Innenleiter 10 an die entsprechenden Elektroden 4 und 3 angeschlossen.

Beide Elektroden 3 und 4 (Fig. 2) sind rechteckig ausgeführt und auf der Unterlage 2 derart angeordnet, daß deren zugeordnete Seiten 11 und 11', 12 und 12', 13 und 13', 14 und 14' einander paarweise parallel verlaufen. Die Strahlungselektrode 3 ist kleiner als die Schirmelektrode 4.

Um ein symmetrisch in der Zwischenlage 6 verteiltes elektrisches Feld zu entwickeln, wird eine elektroleitende Platte 15 (Fig. 3) auf der Unterlage 2 angeordnet, welche in Gestalt und Größe mit der Strahlungselektrode 3 übereinstimmt.

Gemäß Fig. 2 sind die elektrisch leitenden Verbindungsstege 5 neben der Außenseite 12 der Strahlungselektrode 3 in einer Reihe angeordnet, wie dies auch Fig. 3 zeigt. Alle Stege 5 sind von der anderen Seite 11 der Strahlungselektrode 3 in einem $\lambda_2/4$ -Abstand der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage 2 entfernt, wobei λ_2 die Länge der Elektromagnetstrahlung bedeutet.

Die Abstände X_1, X_2 der Seite 11 der Strahlungselektrode 3 von den parallelen Seitenkanten 12' und 11' der Schirmelektrode 4 erreichen $(0,2 - 0,6) \lambda_6$ der Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Zwischenlage 6. Bei einer kleineren Entfernung als $0,2 \lambda_6$ der Wellenlänge nehmen die Abmessungen der Zone einer homogenen Wärmeverteilung ab und werden kleiner als bei bekannten mit derselben Frequenz betriebenen Applikatoren mit einer Unterlage 2 aus ähnlichem Werkstoff. Bei einer Entfernung größer als $0,6 \lambda_6$ kann praktisch keine homogene bzw. die Inhomogenität unter 3 dB aufweisende Wärmeabgabe in der Gleichmäßigkeitszone erreicht werden.

In der Praxis erwies es sich als zweckmäßig, wenn der Abstand X der Seite 12 der Strahlungselektrode 3 von den Seiten 12', 11' der Schirmelektrode 4 jeweils gleich groß ist, was auch die Herstellung des Mikrowellenstrahlers vereinfacht.

Die dielektrische Zwischenlage 6 (Fig. 1) beeinflusst ebenfalls die Entwicklung einer homogenen Wärmeergebigkeit. Daher soll die Stärke d dieser Zwischenlage 6 etwa $0,003$ bis $0,03 \cdot \lambda$ mit λ als Wellenlänge der dem Mikrowellenstrahler 1 zugegebenen Elektromagnetstrahlung betragen.

Bei einer Stärke d der Zwischenlage 6 von kleiner als $0,003 \lambda$ können keine ausreichend großen Bereiche von homogener Wärmeverteilung im elektrischen Feld erreicht werden. Bei einer Stärke d von größer als $0,03 \cdot \lambda$ und bei den Entfernungen X_1, X_2 der Seite 11 der Strahlungselektrode 3 von den Seiten 11', 12' der Schirmelektrode 4 aus dem Bereich zwischen $0,4 \lambda/\sqrt{\epsilon}$ und $0,6 \lambda/\sqrt{\epsilon}$, wobei ϵ die relative Dielektrizitätskonstante des Werkstoffs der Zwischenlage 6, λ die Wellenlänge der erniedrigten Elektromagnetstrahlung bedeuten, tritt ein Gebiet mit verkleinerter Wärmeentwicklung bei einer relativen Wärmeabgabezahl unter 0,5 auf, wodurch eine große Zone mit der homogenen Wärmeergebigkeit mit der Inhomogenität unter 3 dB erhalten werden kann.

Die Zwischenlage 6 (Fig. 4) bildet einen Teil des Gehäuses 16 des Applikators und ermöglicht die Ausbildung einer Wasserkühlung, wobei ihr Innenraum 17 mit einem Zu- und Abfuhrstutzen 18 und 19 für das Wasser ausgebildet sind. In diesem Innenraum 17 sind Vorsprünge 20 als Abstandshalter vorgesehen, um bei starken Biegungen des Applikators den freien Durchfluß des Wassers durch den Innenraum 17 zu gewährleisten. Das Applikatorgehäuse 16 weist an der am Körper anliegenden Seite eine Membran 21 auf und besteht aus einem elastischen Werkstoff, beispielsweise aus Gummi.

Der Innenraum 17 liegt unmittelbar über der Schirmelektrode 4 und hat gleiche Abmessungen, was die homogene Wärmeentwicklung über die große Länge des Strahlers 1 (Fig. 1) günstig beeinflusst.

Fig. 5 veranschaulicht schematisch die Form der homogenen Wärmeergebigkeit bzw. -verteilung im Körper 7 durch den Applikator in schematischer Darstellung. Die Kennlinie 22 gibt das Verhältnis der Intensität der Wärmeentwicklung P in dem anzuwärmenden Körper 7 zu deren Größtwert P_0 in Abhängigkeit von der Koordinate x wieder, die mit der Verstellung an der Oberfläche des Körpers 7 an den Kraftlinien 23 des elektrischen Feldes im Körper übereinstimmt. Diese Kennlinie 22 veranschaulicht hierbei die Entwicklung einer praktisch homogenen Wärmeergebigkeit in einer die Länge der Strahlungselektrode 3 übersteigenden Strecke.

Fig. 6 zeigt die experimentell erhaltene Grenze 24 der durch den Applikator entwickelten Zone der homogenen Wärmeentwicklung, und zwar mit einem Applikator, dessen Schirmelektrode 4 die Abmessungen 220×300 mm aufweist. Die Kennlinie 22' zeigt die experimentell erhaltene Verteilung des Verhältnisses P/P_0 , das in der Zone 25 mit den Abmessungen 200×220 mm erreicht worden ist.

Der erfindungsgemäße Applikator zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie arbeitet wie folgt. Zunächst wird der Applikator mit seiner Membran 21 (Fig. 4 und 5) auf den Bestrahlungsort des Körpers 7 aufgelegt. Dabei befindet sich die dielektrische Zwischenlage 6 zwischen dem Mikrowellenstrahler 1 und der Körperoberfläche. Die Membran 21 soll am Körper 7 dicht anliegen, wodurch eine stabile elektrische Verbindung des Strahlers 1 mit dem Körper 7 entsteht. Das im Innenraum 17 fließende Wasser kühlt die Oberflächenschicht des Körpers 7.

In die Speiseleitung 8 wird eine UHF-Leistung der vorgegebenen Frequenz eingespeist. Dabei bilden die Elektroden 3 und 4 mit den Stegen 5 zusammen einen planaren, $\lambda/4$ -Rechteckresonator, in dem eine UHF-Energie des elektrischen Feldes erregt wird. Die Kraftlinien 26 (Fig. 5) dieses Feldes dringen auf der mit der Schirmelektrode 4 in keiner elektrischen Verbindung stehenden Seite 11 der Strahlungselektrode 3 durch die Zwischenlage 6 hindurch und erregen eine äquivalente Übertragungslinie des UHF-Feldes, die die Elektrode 3, elektroleitende Platte 15 und der Körper 7 bilden. Als Isolationsglied in dieser äquivalenten Übertragungslinie wirkt die Zwischenlage 6, deren Dielektrizitätskonstante und Stärke die elektrischen Kenndaten dieser äquivalenten Übertragungslinie, d. h. die Konstanten der Wellenausbreitung und -dämpfung β und α ermitteln.

Die in der äquivalenten Übertragungslinie von der Seite 11 der Strahlungselektrode 3 links und rechts erregten Wellen breiten sich in Richtung der Seite 12 der Strahlungselektrode 3 und der Seite 27 (Fig. 5) der elektroleitenden Platte 15 aus, reflektieren daran und bilden ein Feld von stehenden Wellen in der äquivalenten Übertragungslinie. In diesem Zusammenhang wird die Verteilung der Wärmeergebigkeit P an der äquivalenten Übertragungslinie entlang dem Amplitudenquadrat des in dieser Linie fließenden elektrischen Stroms proportional und ergibt sich aus den Beziehungen:

$$P = \begin{cases} k_1 \cdot [\operatorname{ch} 2\alpha \cdot (x_1 - x) - \cos 2\beta (x_1 - x)] & \text{bei } 0 \leq x \leq x_1; \\ k_2 \cdot [\operatorname{ch} 2 \cdot (x_2 - x) - \cos 2 \cdot (x_2 - x)] & \text{bei } 0 \geq x \geq x_2, \end{cases}$$

worin

x_1, x_2 Entfernung der Seite 12 der Strahlungselektrode 3 von den Seiten 11' und 12' der Schirmelektrode 4,
 β — eine Wellenausbreitungskonstante in der äquivalenten Übertragungslinie,
 α — eine Wellendämpfungskonstante in derselben äquivalenten Übertragungslinie,

k_1, k_2 maßstäbliche Beiwerte,

x eine laufende Koordinate an der den Kraftlinien 23 des elektrischen Feldes (Fig. 5) parallelen Koordinatenachse entlang,

ch — einen hyperbolischen Kosinus

bedeuten.

Die im Körper 7 fließenden UHR-Ströme, die dem in den Körpergeweben erregten, elektrischen Feld 23 proportional sind, entwickeln eine lokale Hyperthermie in dem Bestrahlungsort des Körpers 7.

Die Kennlinie 22 zeigt deutlich die Veränderung der Wärmeentwicklung entlang der Strahlungselektrode 3. Daraus ist zu ersehen, daß eine ausreichend große Zone 25 der praktisch homogenen Wärmeergebigkeit vorhanden ist, die sich über eine die Länge der Strahlungselektrode 3 übersteigende Strecke verbreitet. Somit ermöglichen die gewählten Größenverhältnisse des Mikrowellenstrahlers 1, ohne zusätzliche aufbaumäßige Abänderungen eine homogene, für die lokale Hyperthermie ausreichende Wärmeausbeute zu entwickeln. Diese Tatsache ist auch auf experimentellem Weg (Fig. 6) bestätigt.

Mit einem erfindungsgemäßen Applikator wurden 24 Hyperthermiebehandlungen in Verbindung mit Gam-mabestrahlungen bei sechs Kranken mit Sarkomen von 20 cm Größe in Weichgeweben durchgeführt. Die Temperatur unter der Geschwulst wurde in der Höhe 42 bis 43°C während einer Stunde aufrechterhalten. Nach dieser Kur ist ein chirurgischer Eingriff bei allen Kranken durchgeführt worden.

Der erfindungsgemäße Applikator gibt die Möglichkeit, innerhalb des menschlichen Körpers eine Zone der räumlichen, homogenen Wärmeabgabe mit deren Ausdehnung an dem elektrischen Feld entlang zu entwickeln, die um das Drei- bis Vierfache diese bei den bisher bekannten Applikatoren mit einzelnen Strahlern übertrifft.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Entwicklung einer lokalen Hyperthermie im menschlichen Körper, bestehend aus einem Mikrowellenstrahler (1) mit einer Strahlungselektrode (3), einer Schirmelektrode (4), einer dielektrischen Unterlage (2), an deren einer Seite die Strahlungselektrode (3) und an deren anderer Seite die Schirmelektrode (4) angeordnet sind, und mit zumindest einem die Strahlungselektrode (3) mit der Schirmelektrode verbindenden Steg (5),

- einer dielektrischen durchlässigen Zwischenlage (6),
- die am Mikrowellenstrahler (1) befestigt und dem
- Bestrahlungsort zugewandt ist und einer
- Speiseleitung (8), über welche dem Mikrowellenstrahler (1) die Elektromagnetschwingungen mit vorausbestimmter Wellenlänge zugeführt werden,

dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungselektrode (3) und die Schirmelektrode (4) rechteckig ausgeführt und auf der dielektrischen Unterlage (2) derart angeordnet sind, daß ihre Seiten (11—14, 11'—14') einander paarweise parallel verlaufen, daß die Stege (5) an einer Seite (12) der Strahlungselektrode (3) in einem der $1/4$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage (2) gleichen Abstand von der gegenüberliegenden Seite (11) der Strahlungselektrode (3) parallel angeordnet sind, daß die Entfernung der den Stegen (5) parallelen, von dem jeweiligen Steg (5) auf $1/4$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage (2) fernstehenden Seite (11) von jeder ihr parallelen Seite (11', 12') der Schirmelektrode (4) 0,2 bis 0,6 Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Zwischenlage (6) erreicht und daß die Stärke der dielektrischen Zwischenlage (6) 0,003 bis 0,03 der Wellenlänge der übertragbaren Elektromagnetstrahlung beträgt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Entfernungen der den Stegen (45) parallelen, von dem jeweiligen Steg (5) auf $1/4$ Wellenlänge der Elektromagnetstrahlung in der dielektrischen Unterlage (2) fernstehenden Seite (11) der Strahlungselektrode (3) von jeder ihr parallelen Seite (11', 12') der Schirmelektrode (4) miteinander gleich sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 mit einer zwischen dem Körper (7) und der dielektrischen Zwischenlage (6) angeordneten Wasserkühlung, dadurch gekennzeichnet, daß der mit Wasser gefüllte Innenraum (17) der Wasserkühlung unmittelbar über der Schirmelektrode (4) angeordnet ist und mit ihr gleiche Abmessungen besitzt.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

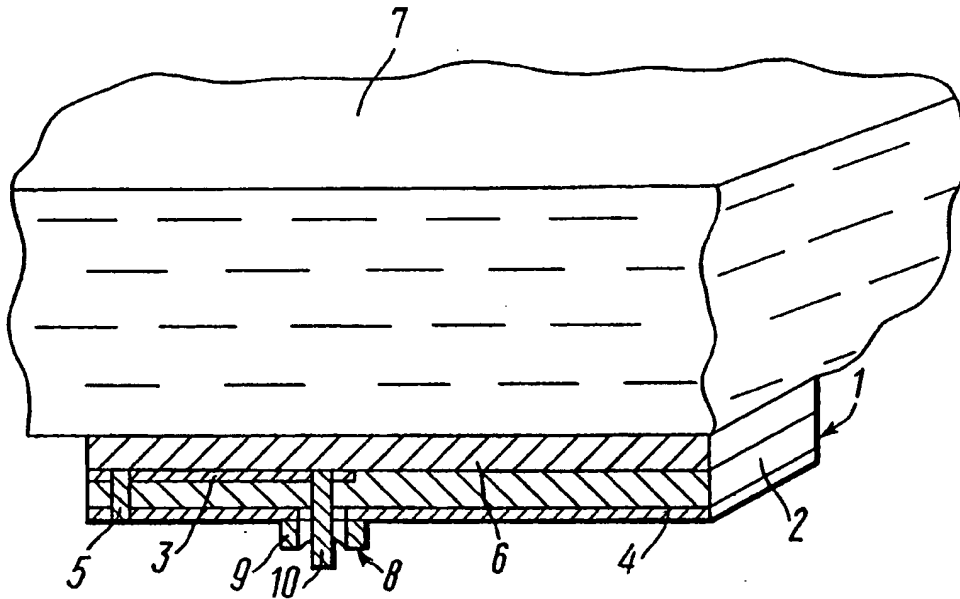


FIG. 1

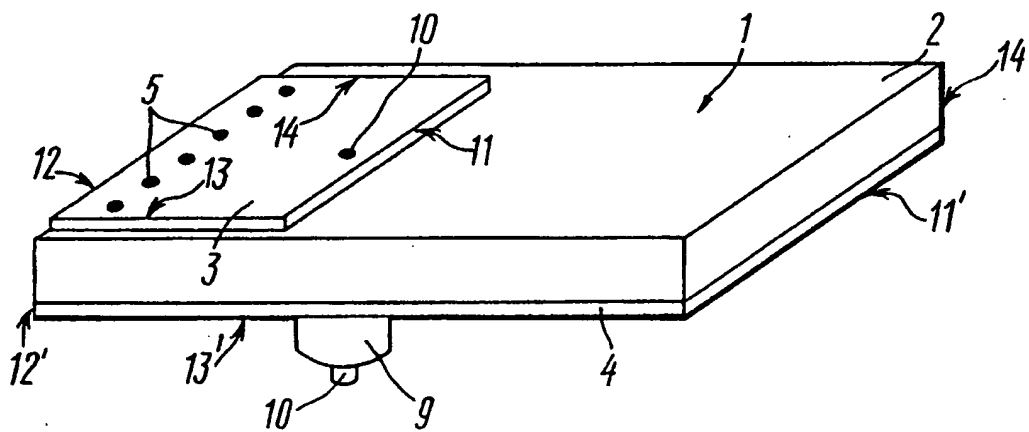


FIG. 2

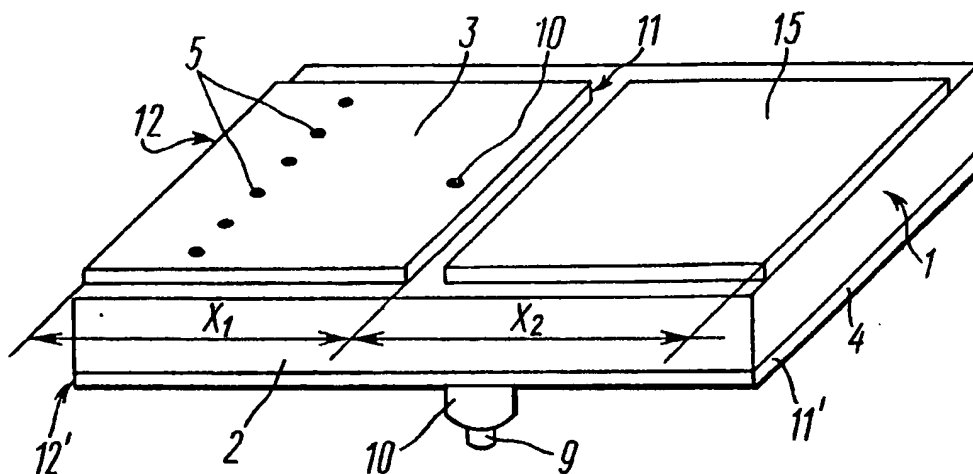


FIG. 3

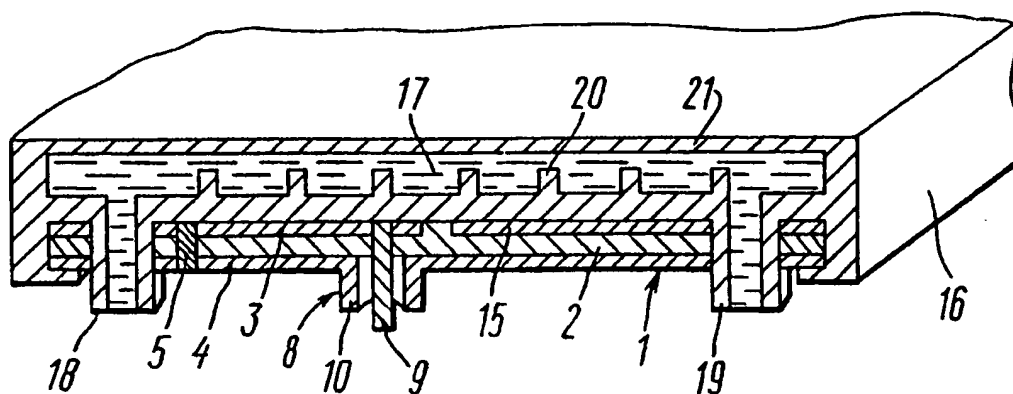


FIG. 4

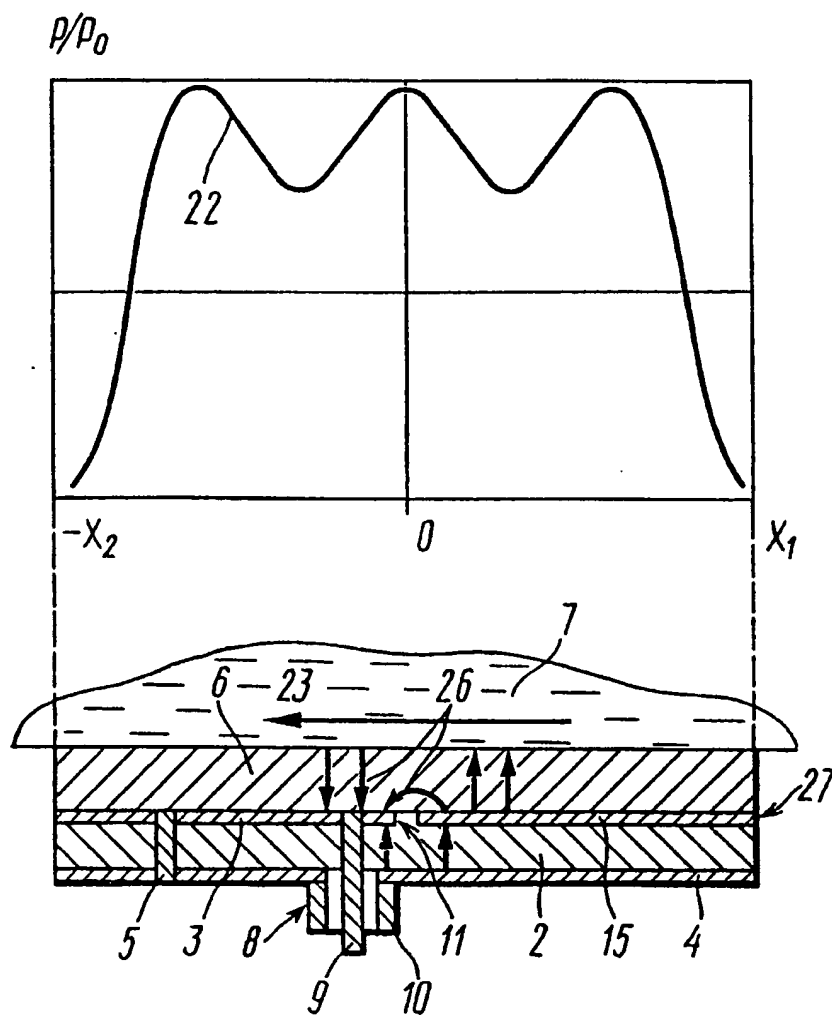


FIG. 5

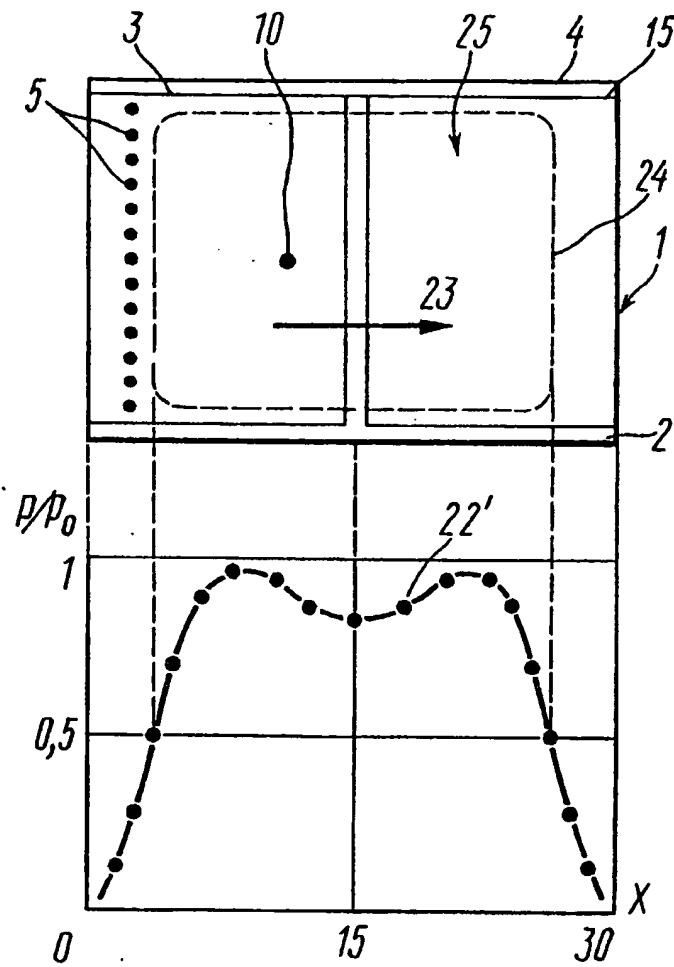


FIG. 6